تمارين في تضمين الوسع

التمرين 1

نستعمل، لإرسال موجة كهرمغنطيسية، توترين جيبيين معادلتاهما:

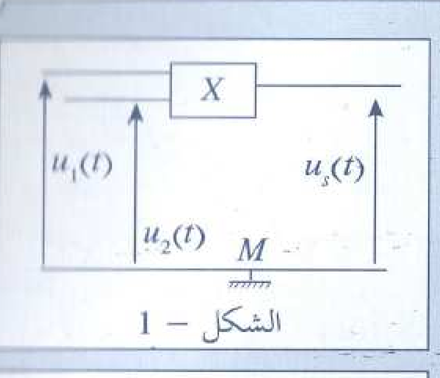
$$p_s(t) = u_{2m}\cos(2\pi F.t)$$

و

$$u_1(t) = U_0 + s_m\cos(2\pi ft)$$

نطبق هذين التوترين على مدخلي دارة متكاملة منجزة للجداء (الشكل – 1)، فنحصل عند الخروج على توتر $u_s(t)$: $u_s(t)=k.u_1(t).p(t)$

k ثابتة موجبة



الشكل – 1

بواسطة راسم التذبذب نعاين، على التوالي، التوترين $u_1(t)$ و $u_s(t)$، فنحصل على الشكل – 2. قبل تطبيق التوترين، البقعة الضوئية لراسم التذبذب مطابقة لمحور الزمن. أثناء معاينة التوترين تم ضبط الحساسية الرأسية على $1V/div$، والحساسية الأفقية على $50\mu s/div$

الشكل – 2

1– عين على الشكل – 2 المنحنى الذي يوافق الإشارة المضمّنة من الإشارة المضمّنة، أو الموجة الحاملة. علل جوابك.

2– هل التوتر $u_1(t)$ يوافق الإشارة المضمّنة أو الموجة الحاملة؟

1.3– حدد التردد f_s للإشارة المضمّنة.

2.3– حدد التردد f_p للإشارة الحاملة.

4– هل التضمين جيد؟ علل جوابك.

5– كيف يكون شكل الإشارة إذا تم حذف قاعدة الزمن لراسم التذبذب؟

الحل

1– مدلول كل منحنى:

المنحنى ① يوافق الإشارة المضمَّنة، لأن ترددها منخفض ولأنها توافق غلاف المنحنى ②.

المنحنى ② يوافق الإشارة المضمّنة، لأن وسعها يتغير مع الزمن.

2– مدلول $u_1(t)$:

يحتوي التوتر $u_1(t)$ على مركبة مستمر U_0، وبالتالي فهو توتر مضمِّنٌ؛ في حين يُوافق التوتر $u_2(t)$ الإشارة الحاملة.

1.3– تعيين f_s:

من الشكل –2 لدينا: $T_s=4.50=200\mu s$

$T_s=2.10^{-4}s$

إذن: $f_s = \dfrac{1}{T_s}$

$f_s=5.10^3\,Hz=5KHz$

2.3– تعيين f_p:

على المنحنى ② الشكل –2 نعاين عشر تذبذبات للإشارة الحاملة خلال دور واحد للإشارة المضمّنة

إذن: $f_p=10f_s$ ، ومنه: $f_p=50KHz$

4– جودة التضمين:

للغلاف الموجب للإشارة المضمّنة شكل منحنى الإشارة المضمّنة نفسه، وبالتالي التضمين جيد.

5– شكل الإشارة:

عند حذف قاعدة الزمن لراسم التذبذب نعاين التوتر المُضمَّن بدلالة التوتر المضمّن . وبما أن التضمين جيد نحصل على منحنى على شكل شبه منحرف.

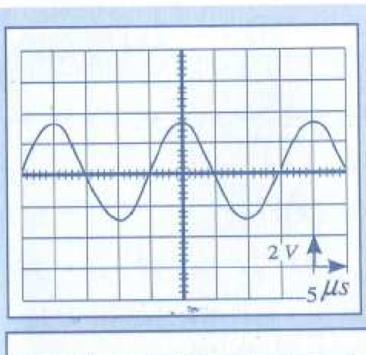
التمرين 2

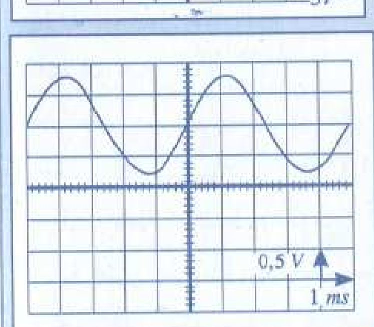
نحقق تجربة التضمين انطلاقاً من توترين جيبيين، تمثل الوثيقة أسفله معاينة توتر الإشارة الحاملة على شاشة راسم التذبذب.



تمارين في تضمين الوسع

1- ماهو التردد f_p لتوتر الحاملة؟
وماهو وسعها P_{max}؟
2- لتضمين وسع الموجة الحاملة نستعمل توتراً مُضمِّناً *Tension modulante* جيبيا، تردده f_s ووسعه s_{max}، وبتخلف U_0. نرمز ب m لنسبة التضمين.
ذكر بتعبير m بدلالة مميزات التوتر المُضمِّن.
3- نعاين على شاشة راسم التذبذب، التوتر المضمِّن، فنحصل على الشكل جانبه:
1.3- ماهو التردد f_s للتوتر المُضمِّن؟ ما وسعه S_{max}؟ وما قيمة التوتر المستمر U_0؟
2.3- ما قيمة نسبة التضمين؟
3.3- هل التضمين جيد؟



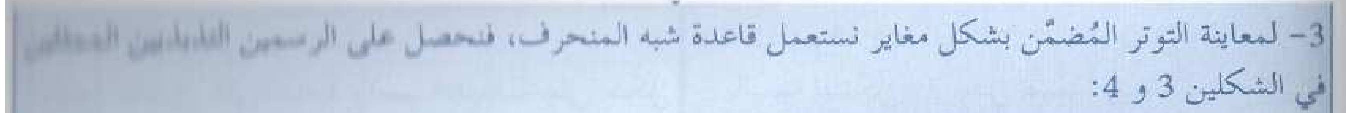


الحل

1- التردد f_p:
نعلم أن: $f_p = \frac{1}{T_p}$
مبيانيا: $T_p = 4.5.10^{-6}$
$T_p = 20.10^{-6}s$
إذن: $f_p = \frac{1}{20.10^{-6}} = 50.000Hz = 50KHz$
- الوسع P_{max}:
مبيانيا: $P_{max} = 1,6.2 = 3,24V$
2- تعبير m:
يعبر عن نسبة التضمين بـ: $m = \frac{S_{max}}{U_0}$
حيث: S_{max}: وسع التوتر المُضمِّن (*modulant*)
و U_0: المركبة المستمرة.
1.3- التردد f_s:
نعلم أن: $f_s = \frac{1}{T_s}$
مبيانيا: $T_s = 4.10^{-3}s$
إذن: $f_s = \frac{1}{4.10^{-3}} = 250Hz$
- الوسع S_{smax}:
مبيانيا: $S_{max} = \frac{2,8}{2}.0,5 = 0,7V$
- توتر التخلف U_o:
$U_0 = 2.0,5 = 1V$
2.3- نسبة التضمين:
لدينا: $m = \frac{S_{max}}{U_0}$
ت.ع: $m = \frac{0,7}{1} = 0,7$
3.3- جودة التضمين:
يكون التضمين جيداً إذا كانت نسبة التضمين $m<1$.
$m=0,7$ إذن التضمين جيد في هذه الحالة.

التمرين 3

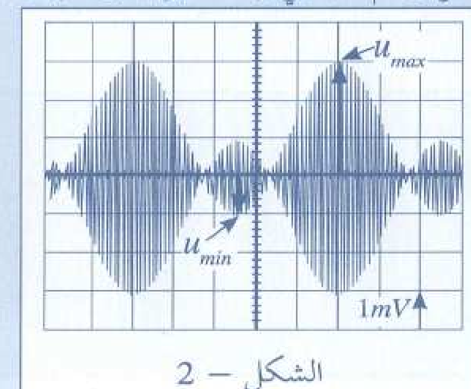
تم الحصول، أثناء إنجاز تجارب بتضمين الوسع انطلاقا من توترين جيبين على الشكلين 1 و 2:
1- ماذا يمكن أن نقول عن جودة التضمين بالنسبة لكل حالة؟ ما اسم الظاهرة التي يبرزها الشكل 2 ؟
2- تعبير نسبة تضمين توتر مُضمَّن (*modulée*) بالوسع هو: $m = \frac{u_{max} - u_{min}}{u_{max} + u_{min}}$
1.2- ما الشرط الذي يجب أن تحققه m للحصول على تضمين جيد.
2.2- احسب قيم m في كل حالة. هل النتائج تؤكد جواب السؤال 1



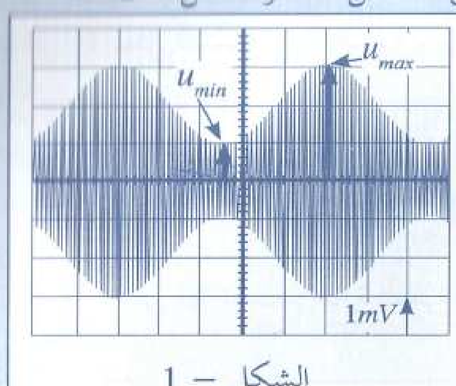
3- لمعاينة التوتر المُضمَّن بشكل مغاير نستعمل قاعدة شبه المنحرف، فنحصل على الرسمين التذبذبيين الممثلين في الشكلين 3 و 4:

1.3- صف بإيجاز طريقة شبه المنحرف.

2.3- أقرن كل رسم تذبذبي (الشكلين 3 و 4) بالرسمين: الشكل – 1 والشكل – 2.

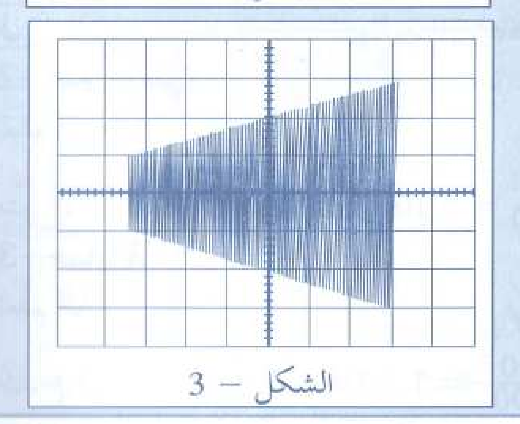


الشكل – 2

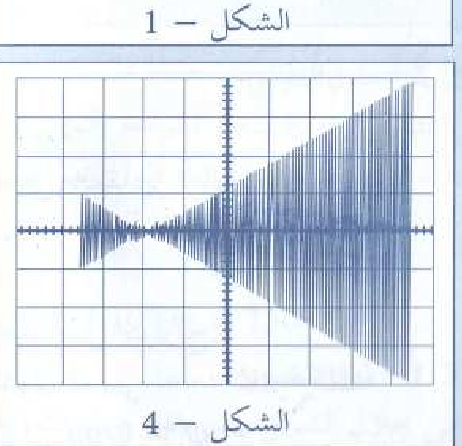




الشكل – 1



الشكل – 3



الشكل – 4

الحـل

1- حالة التضمين:

بالنسبة للشكل –1 نلاحظ أن غلاف التوتر المضمَّن $u_s(t)$ مطابق للتوتر المضمِّن $s(t)$، وبالتالي يكون التضمين في هذه الحالة جيداً. وبالنسبة للشكل –2 نلاحظ أن غلاف التوتر المضمَّن مخالف للتوتر المضمِّن، وبالتالي يكون التضمين في هذه الحالة رديئاً.

الظاهرة التي يبرزها الشكل–2 ظاهرة فوق التضمين *surmodulation*.

1.2- شرط m:

للحصول على تضمين جيد يجب أن تكون نسبة التضمين: $m < 1$.

2.2- حساب قيم m:

– بالنسبة للشكل –1:

مبيانيا: $U_{max}=3mV$ و $U_{min}=1mV$

إذن:

$$m_1 = \frac{3-1}{3+1} = \frac{2}{4} = 0,5$$

– بالنسبة للشكل –2:

مبيانيا: $U_{max}=3mV$ و $U_{min}=-1V$

$$m_2 = \frac{3+1}{3-1} = \frac{4}{2} = 2$$

إذن:

$m_1<1$، وبالتالي التضمين جيد.

$m_2>1$، وبالتالي التضمين رديء: ظاهرة فوق التضمين.

تؤكد هذه النتائج ما تم التوصل إليه في جواب السؤال 1.

1.3- وصف طريقة شبه المنحرف:

تتلخص طريقة شبه المنحرف فيما يلي:

– ربط التوتر المضمِّن $s(t)$ بالمدخل y_1 لراسم التذبذب.

– ربط التوتر المضمَّن $u_s(t)$ بالمدخل y_2 لراسم التذبذب.

- إزالة الكسح لراسم التذبذب.
عندها نحصل على شاشة راسم التذبذب على شكل شبه منحرف.

2.3- مدلول كل منحنى:

- بالنسبة للشكل 1- يمثل تضمينا جيدا بالوسع ويوافق شبه المنحرف الشكل -أ-.
- بالنسبة للشكل 2- يمثل تضمينا رديئا بالوسع ويوافق الشكل -ب-.

التمرين 4

تعبير توتر جيبي يكتب: $u(t) = 3\cos(2\pi.200t)$

1- ما المقادير المميزة للتوتر الجيبي. حدد قيمها ووحدتها؟
2- عين الدور الزمني للتوتر.
3- عين طول الموجة التي لها تردد الإشارة المقرونة بالتوتر نفسه.
نعطي: $C=3.10^8 m/s$

الحل

1- المقادير المميزة:

يتميز التوتر الجيبي بالمقادير التالية:
- U_m: الوسع.
- f: التردد.
- φ: الطور عند أصل التواريخ.

بالنسبة للتوتر الجيبي نجد: $U_m=3V$، $f=200Hz$ $\varphi = 0rad$

2- الدور الزمني:

نعلم أن: $T = \frac{1}{f}$

ت.ع: $T = \frac{1}{200} = 5.10^{-3}s$

3- حساب λ:

نعلم أن: $\lambda = c/f$

ت.ع: $\lambda = \frac{3.10^8}{200} = 1,5.10^6 m$

التمرين 5

التعبير العام لتوتر جيبي يكتب: $u(t) = U_m\cos(2\pi f.t + \varphi)$
يمثل الشكل 1 جانبه التوتر المعبر عن إشارة كهربائية.

1.1- عين مبيانيا:
- وسع الإشارة U_m.
- تردده f
- الطور φ عند أصل التواريخ.

2.1- أعط تعبير $u_1(t)$

2- في حالة إرسال الموجة السابقة باستعمال هوائي باعث.

1.2- احسب طول الموجة، نعطي $C=3.10^8 m/s$.

2.2- ما الطول ℓ الذي يجب أن يكون الهوائي كي يتم التقاط الموجة.

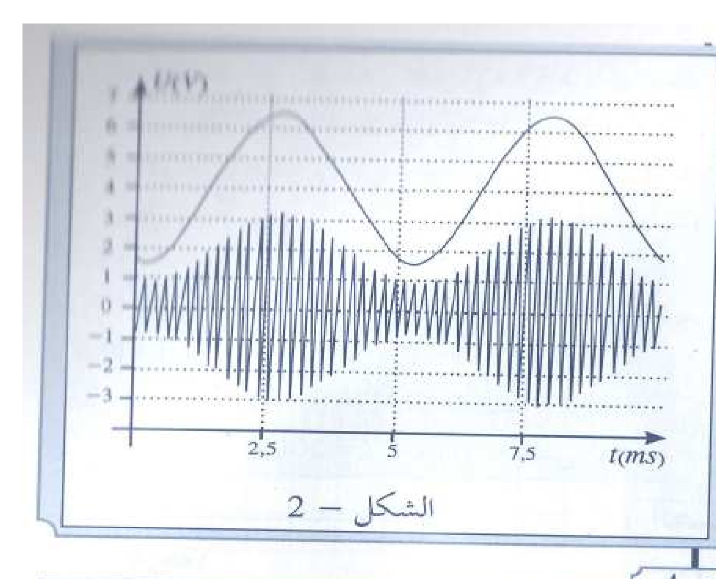
3- لاستقبال الموجة في ظروف جيدة يتم إرسالها اعتماداً على مبدأ التضمين، يمثل الشكل 2 الموجة الحاملة المستعملة.

الشكل - 1



1.3- أي نوع من التضمين تم استعماله؟ علل جوابك.

2.3- عين F_p تردد الموجة الحاملة.



الشكل - 2

الحل

1.1- التعيين المبياني:

* مبيانيا: نجد:

- الوسع: $U_m=2,4V$

- التردد: $f=\frac{1}{T}$

* مبيانيا: $T=5ms$

إذن: $f=\frac{1}{5.10^{-3}}=200Hz$

- الطور عند أصل التواريخ:

عند: $t=0$ فإن: $u(t=0)=0$

$$\cos\varphi=\frac{u(t=0)}{U_m}=\frac{0}{2,5}=0$$

$$\varphi=-\frac{\pi}{2}$$

2.1- تعبير $u_1(t)$:

$$u(t)=2,5\cos(2\pi.200t+\frac{\pi}{2})$$

1.2- حساب λ:

نعلم أن: $\lambda=\frac{C}{f}$

ت.ع: $\lambda=\frac{3.10^{8}}{200}=1,510^{6}m$

2.2- طول الهوائي:

باعتبار أن الالتقـــاط للموجة يكون جيداً إذا كان طول الهوائي ℓ يساوي نصف طول الموجة، إذن:

$$\ell=\frac{\lambda}{2}$$

$$\ell=\frac{1,5.10^{6}}{2}=7,5.10^{5}m=7500Km$$

1.3- نوع التضمين:

من خلال الشكل يتبين تغير وسع الموجة بدلالة الزمن، وبالتالي فالتضمين المستعمل هو تضمين بالوسع.

2.3- تعيين F_p:

لدينا من الشكل $25T_p=5ms$

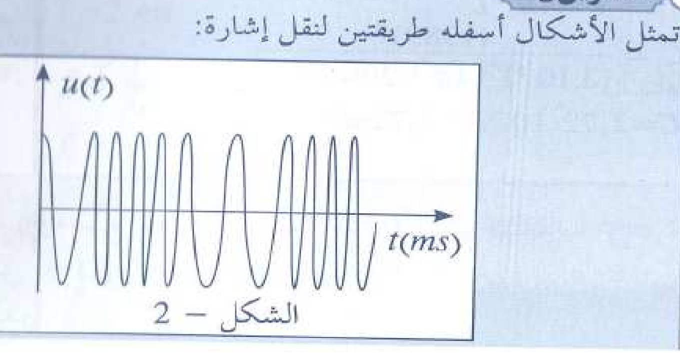
$T_p=0,2ms$

إذن: $F_p=\frac{1}{T_p}$

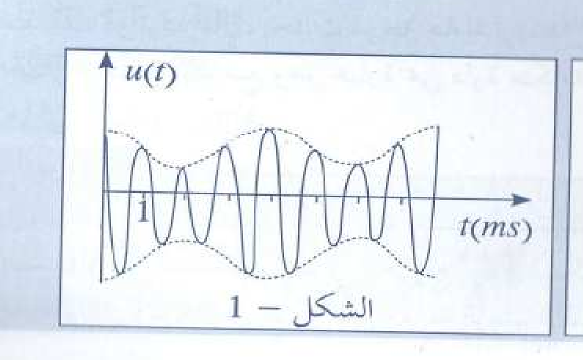
$$F_p=\frac{1}{0,2.10^{-3}}=5000Hz=5KHz$$

التمرين 6

تمثل الأشكال أسفله طريقتين لنقل إشارة:

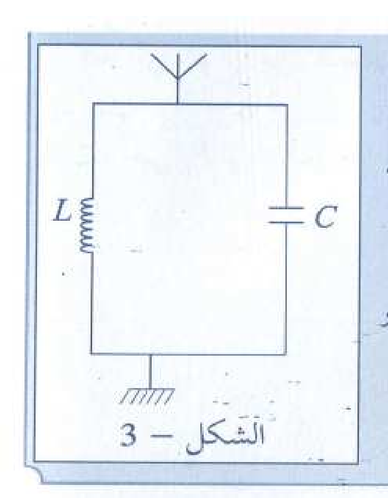


الشكل - 2



الشكل - 1





1– ما الطريقة التي اعتمدت لنقل الإشارة في كل شكل؟
2– عين تردد الإشارة المضمَّنة، وتردد الإشارة المضمِّنة في الشكل –1.
3– ما هي أهم العناصر التي تكون سلسلة إرسال واستقبال إشارة كهرمغناطيسية.
4– يمثل الشكل – 3 هوائيا مستقبلا مرتبطا بدارة (L,C) متوازية:
1.4– ما الدور الذي تلعبه الدارة (L,C).
2.4– ما القيمة اللازم إعطاؤها للمكثف C كي يتم التقاط موجة راديو $(\lambda = 1389m)$.
نعطي: $C=3.10^8 m.s^{-1}$ سرعة الضوء
$L=200\mu H$ معامل تحريض الوشيعة

الحـل

1– الطريقة:

الطريقة التي تم اعتمادها لنقل المعلومة: التضمين.
– بالنسبة للشكل – 1: التضمين بالوسع
– بالنسبة للشكل – 2: التضمين بالتردد

2– تعيين التردد:

– بالنسبة للإشارة المضمِّنة
مبيانيا: $T_s=4ms$
إذن: $f_s = \frac{1}{T_s}$
$f_s = \frac{1}{4.10^{-3}} = 250Hz$
– بالنسبة للإشارة المضمَّنة (الحاملة)
مبيانيا: $T_p=1ms$
إذن: $f_p = \frac{1}{T_p}$
$f_p = \frac{1}{10^{-3}} = 1000Hz = 1KHz$

3– عناصر السلسلة:

تتكون سلسلة إرسال واستقبال إشارة كهرمغناطيسية من العناصر التالية:
– مضخم يستقبل ويضخم الإشارة المضمِّنة المراد نقلها.
– متذبذب ذو تردد عالٍ، يحدث موجة حاملة ترددها f_p.
– جهاز التضمين بالوسع وهو عبارة عن دارة متكاملة.
– هوائي باعث.
– هوائي مستقبل مرشح فارز يسمح بمرور إشارات ذات ترددات موزعة حول f_p.
– جهاز إزالة التضمين يمكن من عزل الإشارة المحتوية للمعلومة عن الموجة الحاملة.

1.4– دور الدارة (L,C):

الدارة (LC) عبارة عن متذبذب كهربائي، تخضع لتذبذبات قسرية (الإشارة المستقبلة بالهوائي)، وتلعب دور مرشح ممرر للمنطقة المركزة حول التردد الخاص $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.
لهذا يجب ضبط مميزات الدارة (قيم L وC) كي يطابق التردد f_0 تردد الموجة الحاملة f_p.

2.4– تعيين قيمة C:

تردد الموجة الحاملة F يحقق الشرط: $F=f_0$
مع: $F = \frac{c}{\lambda}$
ت.ع: $F = \frac{3.10^8}{1389} = 2,16.10^5 Hz = 216\ KHz$
ومنه: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = F = \frac{c}{\lambda}$
$C = \frac{\lambda^2}{c^2.4\pi^2 L}$
ت.ع: $C = \frac{(1389)^2}{(3.10^8)^2(4\pi^2.200.10^{-6})}$
$C=2,72.10^{-9}F=2,72nF$

التمرين 7

نطبق، عند مدخل تركيب إلكتروني، إشارة مضمَّنة بالوسع. نعاين على المدخل y_1 لراسم التذبذب الإشارة المضمَّنة، وعلى المدخل y_2 توتر الخروج u_s (الشكل – 1).
1– ارسم التركيب الذي يمكن من معاينة الرسم التذبذبي 2.



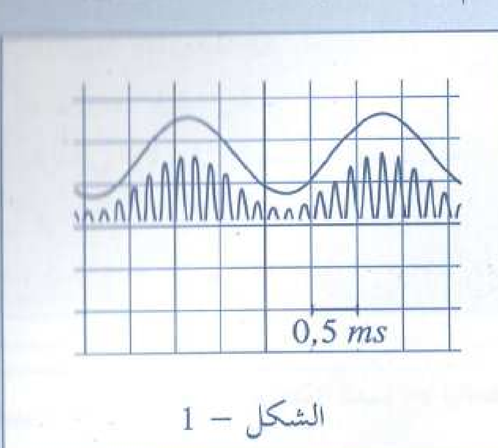


2- باستعمال الرسم التذبذبي (الشكل – 1) عين كلا من تردد الإشارة المضمَّنة، وتردد الموجة الحاملة.

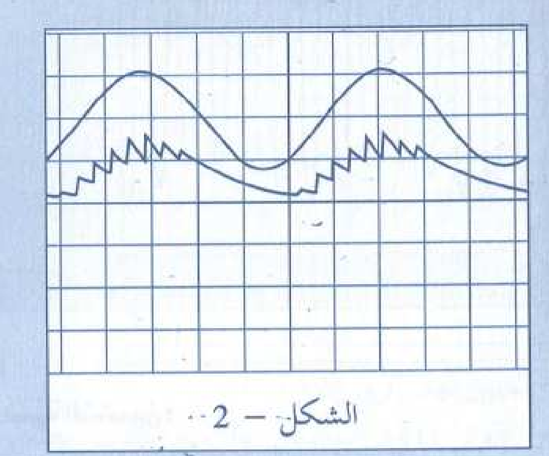
3- أتمم التركيب السابق للحصول على إزالة تضمين كامل كما يمثل الرسم التذبذبي الشكل – 2 .

4- أعط تعبير τ ثابتة الزمن. وأعط تأطيراً لها.

5- نستعمل موصلا أوميا مقاومته $R = 10k\Omega$، عين مجال القيم الممكنة لقيمة C سعة المكثف.



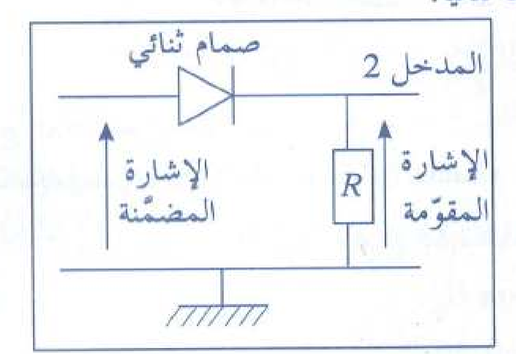
الشكل – 1


الشكل – 2

الحل

1- التركيب:

نعاين على المدخل y_2 إشارة مقوّمة، للحصول على هذه الإشارة نستعمل التركيب أسفله الذي يتضمن صماما ثنائيا.



2- تعيين f_s و f_p:

– بالنسبة للإشارة المضمّنة:

مبيانيا: $T_s = 4.0,5$

$T_s = 2\ ms$

نعلم أن: $f_s = \frac{1}{T_s}$

$f_s = \frac{1}{2.10^{-3}} = 500Hz$

– بالنسبة للموجة الحاملة: $12T_p = 4.0,5 = 2ms$

أي: $T_p = 0,16ms$

وبالتالي: $f_p = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{0,16.10^{-3}} = 6250Hz$

3- إزالة التضمين:

للحصول على الرسم التذبذبي، تتم إضافة مكثف مركب على التوازي مع الموصل الأومي ويسمى هذا التركيب بكاشف الغلاف.

R C

4- تعبير τ ثابتة الزمن:

نعلم أن: $\tau = R.C$ وللحصول على إزالة تضمين جيد يجب $\frac{1}{f_p} < \tau < \frac{1}{f_s}$

إذن: $T_p < \tau < T_s$

ومنه: $0,16ms < \tau < 2ms$

5- تعيين مجال قيم C:

لدينا: $0,16ms < \tau < 2ms$

أي: $0,16ms < RC < 2ms$

$\frac{0,16ms}{R} < C < \frac{2ms}{R}$

ت. ع: $\frac{0,16.10^{-3}}{10.10^{3}} < C < \frac{2.10^{-3}}{10.10^{3}}$

$0,16.10^{-7}F < C < 2.10^{-7}F$

$16nF < C < 200nF$

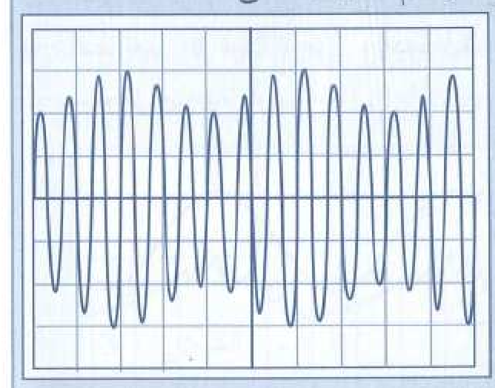
urdorous.blogspot.com



تمارين في تضمين الوسع



يمثل الرسم التذبذبي جانبه، إشارة $u(t)$ مضمّنة بالوسع. حيث تم ضبط راسم التذبذب على:



حساسية أفقية: $5ms/div$

حساسية رأسية: $0,2V/div$

معامل الجداء: $K=0,050V^{-1}$

المرتبة المستمدة: $U_0=2\ V$

1- عين ترددي الإشارتين المضمّنة والمضمَنة.

2- عين قيمة نسبة التضمين. ماذا تستنتج؟

3- حدد قيمة وسع الإشارة المضمّنة وقيمة وسع الإشارة الحاملة.

الحل

1- تعيين الترددين:

مبيانيا، يمثل عرض شاشة راسم التذبذب المدة الزمنية Δt، حيث:

$$\Delta t = 10div.5ms/div = 5.10^{-2}s$$

وتوافق هذه المدة: 2,5 ذبذبة للإشارة المضمّنة $u_s(t)$.

و15 ذبذبة للإشارة المضمّنة $p(t)$.

إذن:

$$\Delta t = 2,5T_s$$

$$T_s = \frac{\Delta t}{2,5}$$

ت ع:

$$T_s = \frac{5.10^{-2}}{2,5}$$

$$T_s = 2.10^{-2}s$$

وبالتالي نستنتج:

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

$$f_s = \frac{1}{2.10^{-2}} = 50Hz$$

كذلك لدنيا:

$$\Delta t = 15T_p$$

$$T_p = \frac{\Delta t}{15}$$

$$T_p = \frac{2.10^{-2}}{15} = 1,33.10^{-3}s$$

ومنه نستنتج:

$$f_p = \frac{1}{T_p}$$

$$f_p = \frac{1}{1,33.10^{-3}} = 300Hz$$

2- نسبة التضمين:

نعلم أن نسبة التضمين تكتب: $m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$

حيث تمثل U_{max} و U_{min} على التوالي القيمتين القصوية والدنوية للتوتر المضمّن بالوسع.

مبيانيا: $U_{max}=3div.0,2v/div=0,6v$

$U_{min}=2div.0,2v/div=0,4v$

إذن: $m = \frac{0,6 - 0,2}{0,6 + 0,4} = 0,2$

نستنتج أن التضمين جيد بحيث $m<1$.

3- تحديد وسعي الإشارة المضمّنة والإشارة الحاملة:

نعلم أن: $m = \frac{S_{max}}{U_0}$ حيث S_{max} وسع الإشارة المضمّنة

إذن: $S_{max}=m.U_0$

إذن: $S_{max}=0,20.2$

ت ع: $S_{max}=0,20.2$

$S_{max}=0,40V$

ونعلم أن: $U_{max}=A(1+m)$

حيث: $A=K.p_m.U_0$

مع: K: معامل الجداء

p_m: وسع الإشارة الحاملة

U_0: المركبة المستمرة.

إذن: $p_m = \frac{0,6}{(1 + 0,2)0,05.2} = 5V$

التمرين 9

يكتب تعبير $u_s(t)$ لتوتر مضمَّن بالوسع كالتالي:

$$u_s(t) = 0,167\cos(1,89.10^6 t)[25,2 + 13,9\cos(9,62.10^4 t)]$$

1- عين قيمة التردد f_s، والوسع S_m للإشارة المراد نقلها.

2- عين قيمة التردد f_p، والوسع P_m للموجة الحاملة.

3- احسب نسبة التضمين m. ماذا تستنتج؟

4- أعط تعبير $u_E(t)$ توتر الغلاف للتوتر $u_S(t)$ المحصل عليها عند مخرج كاشف الغلاف.

5- استنتج تعبير التوتر $u_F(t)$، التوتر المحصل عليه نهائيا عند مخرج مرشح ممرر للترددات العالية. استنتج.

نعطي $K=0,132V^{-1}$ معامل الجداء و $U_0=2,50V$ التوتر المستمر

الحل

1- تعيين قيم f_s و S_m:

تعبير التوتر $u_s(t)$ المضمَّن بالوسع يكتب بصفة عامة كالتالي:

$$(1)u_s(t) = k\,p_m U_0\cos(2\pi f_p t)[1 + m\cos(2\pi f_s.t)]$$

وباعتبار تعبير التوتر $u_s(t)$، والتعميل بالمقدار 25,2، نحصل على:

$$u_s(t) = 0,167.25,2\cos(1,89.10^6 t)\left[1 + \frac{13,9}{25,2}\cos(9,62.10^4 t)\right.$$

$$(2)u_s(t) = 4,21\cos(1,89.10^6 t)[1 + 0,552\cos(9,62.10^4 t)]$$

وبتطابق التعبيرين (1) و(2) نستنتج أن:

$$2\pi f_s = 9,62.10^4$$

$$f_s = \frac{9,62.10^4}{2\pi} = 1,53.10^4 Hz = 15,3kHz$$

وأن:

$$m = \frac{S_m}{U_0} = 0,552$$

إذن:

$$S_m=0,552.\,U_0$$

ت ع:

$$S_m=0,552.2,50=1,38V$$

2- تعيين f_p و p_m:

نستنتج من العلاقتين (1) و(2):

ن:

$$2\pi f_p = 1,89.10^6$$

$$f_p = \frac{1,89.10^6}{2\pi} = 3,01.10^5 Hz$$

$$f_p = 301KHz$$

أن:

$$kp_m.U_0 = 4,21$$

$$p_m = \frac{4,21}{k.U_0} = \frac{4,21}{0,132.2,50} = 12,8V$$

3- حساب m نسبة التضمين:

لدينا:

$$m = \frac{S_m}{U_0} = \frac{1,38}{2,5} = 0,552$$

وبما أن: $m<1$، نستنتج أن التضمين جيد.

4- تعبير $u_E(t)$:

غلاف التوتر المضمَّن $u_E(t)$ هو وسع التوتر الجيبي ذي التردد f_p، بحيث:

$$u_s(t) = \cos(2\pi f_p t).u_E(t)$$

$$= \cos(1,89.10^6 t).u_E(t)$$

نستنتج إذن تعبير $u_E(t)$، حيث:

$$u_E(t) = 0,167.[25,2 + 13,9\cos(9,62.10^4 t)]$$

إذن:

$$u_E(t) = 4,21 + 2,32\cos(9,62.10^4 t)$$

5- استنتاج تعبير $u_F(t)$:

يتجلى دور المرشح الممرر للترددات العالية في إزالة المركبة المستمرة وبالتالي التوتر $u_F(t)$ يكتب:

$$u_F(t)=2,32\cos(9,62.10^4.t)$$

استنتاج: لدينا:

$$U_F=2,32\ V$$

$$S_m.p_m.k=1,38.12,8.0,132=2,33V$$

إذن نستنتج أن:

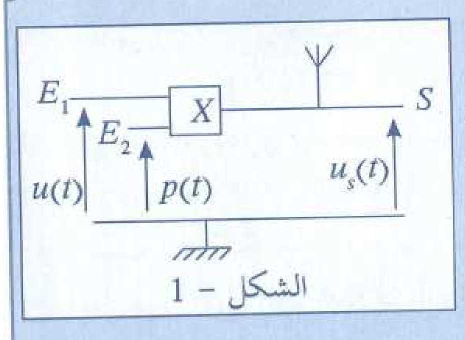
$$U_F=S_m\,p_m.k$$



تمارين في تضمين الوسع

التمرين 10

I– إرسال الإشارة:



الشكل – 1

يمكن التركيب جانبه (الشكل – 1) من إنجاز تضمين بالوسع، حيث نطبق علـى المدخل E_1 للدارة المتكاملة المنجزة للجداء توتراً $u(t)=s(t)+U_0$ حيث:

* $s(t) = S_m\cos(2\pi f.t)$ الإشارة التي تتضمن المعلومة.
* f ترددها، و S_m وسعها.
* U_0: المركبة المستمرة

ونطبق على المدخل E_2 توتراً $p(t) = p_m\cos(2\pi Ft)$ ويمثل الموجة الحاملة ذات التردد F والوسع p_m.

عند مخرج الدارة المتكاملة نحصل على التوتر $u_s(t)$ والذي تتم معاينته على شاشـة راسـم التذبذب (شـكل – 2).

الشكل – 2

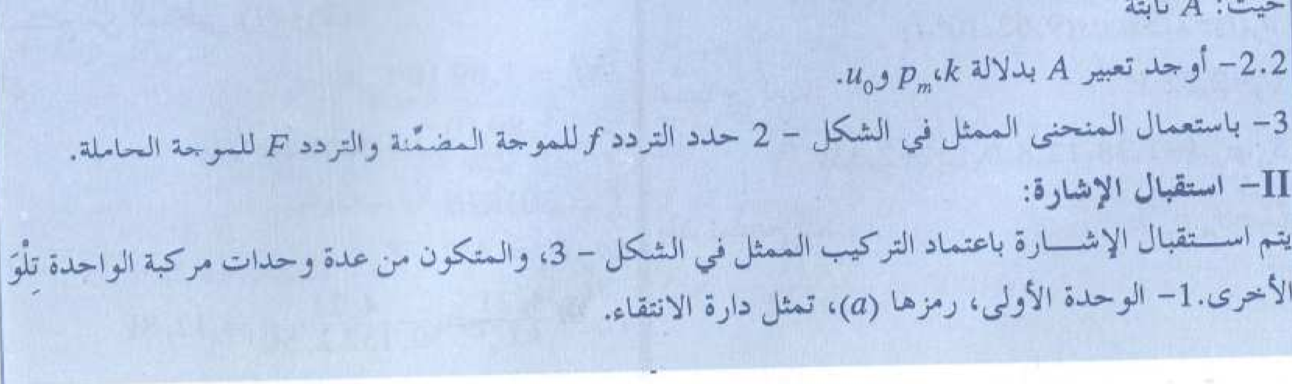
1.1– لماذا يجب إضافة المركبة المستمرة إلى الإشارة المراد نقلها؟

2.1– ما الشرط الذي يجب أن يحققه $m = \frac{S_m}{u_0}$:m) نسبة التضمين).

2– عند مخرج الدارة المتكاملة التوتر $u_s(t)$، يتناسب مع التوتر $p(t)$ و $u(t)$.

حيث: $u_s(t)=k\,u(t)\cdot p(t)$

و k معامل التناسب



1.2– بين أن: $u_s(t) = A[1 + m\cos(2\pi ft)]\cos(2\pi Ft)$

حيث: A ثابتة

2.2– أوجد تعبير A بدلالة k، p_m و u_0.

3– باستعمال المنحنى الممثل في الشكل – 2 حدد التردد f للموجة المضمّنة والتردد F للموجة الحاملة.

II– استقبال الإشارة:

يتم اسـتقبال الإشـارة باعتماد التركيب الممثل في الشكل – 3، والمتكون من عدة وحدات مركبة الواحدة تلْوَ الأخرى.1– الوحدة الأولى، رمزها (a)، تمثل دارة الانتقاء.

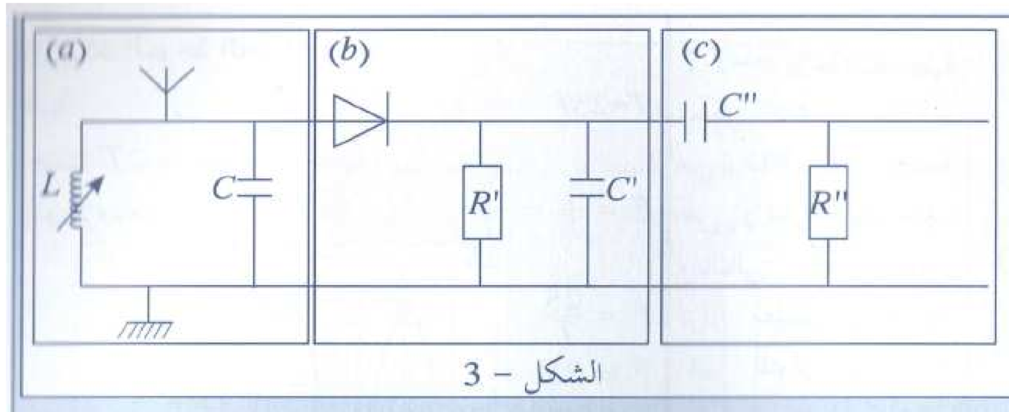
urdorous.blogspot.com

تمارين في تضمين الوسع

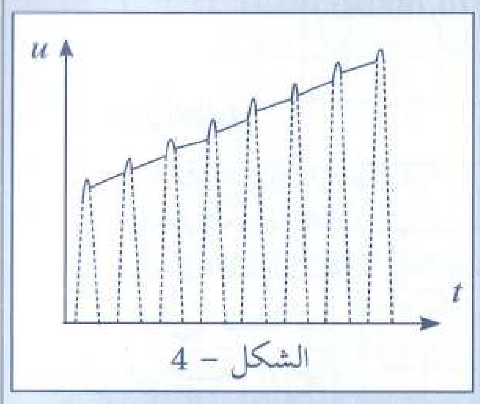
1.1– ما دور هذه الدارة؟

2.1– بين كيف يمكن التقاط محطة إذاعية واحدة.

3.1– تحقق من أن $L=63,4mH$ تمكن من انتقاء الإشارة المرسلة في الجزء I، نعطي $C=1nF$ و $\pi = 3,14$



الشكل – 3



الشكل – 4

2– الوحدة الثانية من الشكل – 3 رمزها (b)، وتمثل دارة كاشف الغلاف، وتمكن من إزالة التضمين للإشارة المستقبلة.

1.2– ما معنى إزالة تضمين إشارة مستقبلة؟

2.2– يمثل الشكل – 4 الرسم الذي أنجزه تلميذ أثناء معاينته على شاشة راسم التذبذب للإشارة عند مخرج دارة كاشف الغلاف. هل هذا الرسم صحيح؟ علل جوابك.

3– ما الدور الذي تلعبه الوحدة الثالثة ذات الرمز (c) من التركيب.

الحل

I– إرسال الإشارة:

1.1– إضافة المركبة المستمرة:

تضاف المركبة المستمرة U_0 حيث $U_0>S_m$ وسع S_m الإشارة المنقولة

> إذا كان $m>1$ فإن $U_0<S_m$، في هذه الحالة نحصل على فوق التضمين.

$s(t)$ لكي يكون التوتر $u(t)$ المطبق عند مدخل الدارة المتكاملة $u(t)=s(t)+U_0$ موجبا.

2.1– شرط m:

للحصول على تضمين جيد يجب أن تكون نسبة التضمين $m<1$، ويتحقق هذا إذا كان $U_0<S_m$،

وبالتالي: $m = \frac{S_m}{U_0} < 1$

1.2– لنبين العلاقة:

لدينا: $u_s(t)=k\,u(t).p(t)$

مع: $u(t) = U_0 + s(t) = U_0 + S_m\cos(2\pi f.t)$

و $p(t) = p_m\cos(2\pi F.t)$

إذن: $u_s(t) = k(U_0 + S_m\cos(2\pi ft)\,p_m\cos(2\pi Ft)$

$$(1)\; u_s(t) = kp_mU_0\left(1 + \frac{S_m}{U_0}\cos(2\pi ft)\right)\cos(\pi Ft)$$

ونكتب على الشكل:

$$(2)\; u_s(t) = A(1 + m\cos(2\pi f.t))\cos(2\pi F.t)$$

2.2– تعبير A:

باعتبار العلاقتين (1) و(2) نستخلص أن: $A=k.p_m.U_0$

3– تحديد الترددين f و F:

– تردد الموجة المضمِّنة:

نحدد من المنحنى الدور T للموجة المضمِّنة حيث:

$T=1,25ms=1,25.10^{-9}s$

إذن التردد f للموجة المضمِّنة: $f = \frac{1}{T}$

$$f = \frac{1}{1,25.10^{-9}} = 800Hz$$

urdorous.blogspot.com

– تردد الموجة الحاملة:

لدينا: $T=25T'$

حيث T' تردد الموجة الحاملة

إذن ترددها F

$$F = \frac{1}{T'} = \frac{1}{\frac{T}{25}}$$

$$F = \frac{25}{T}$$

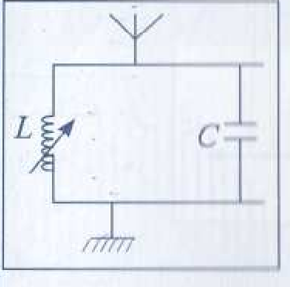
$$F = 25f$$

ت ع: $F=25.800=20.000Hz$

$F=20kHz$

II– استقبال الإشارة:

1.1– دور الدارة:



يتم التقاط الموجات الكهرومغنطيسية المرسلة بواسطة الهوائي. فينشأ توتر كهربائي في هذا الأخير، وتستعمل الدارة (LC) المتوازية كمرشح ممرر للمنطقة، حيث تسمح بانتقاء إرسال واحد.

2.1– كيفية التقاط محطة إذاعية واحدة:

لانتقاء إرسال محطة إذاعية واحدة يستلزم التوفيق بين التردد الخاص f_0 للدارة LC المتوازية والتردد F الموجة المنبعثة من المحطة الإذاعية، حيث:

$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$: التردد الخاص للدارة LC المتوازية.

F: تردد الموجة المضمّنة.

إذن: $$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

3.1– التحقق من قيمة L:

لدينا: $$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

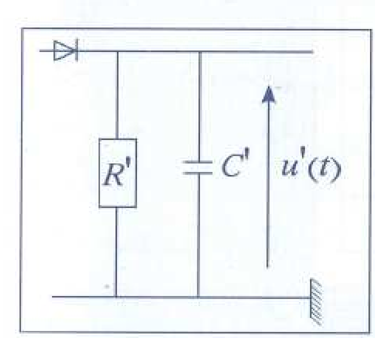
$$\sqrt{LC} = \frac{1}{2\pi F}$$

$$LC = \left(\frac{1}{2\pi F}\right)^2$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2F^2C}$$

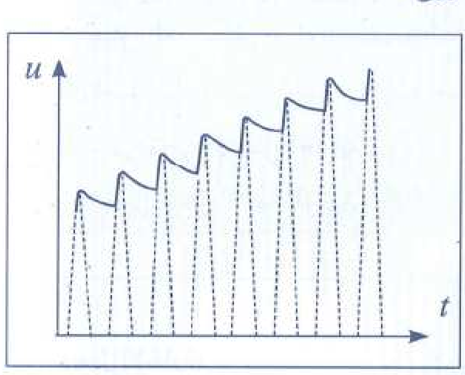
ت ع: $$L = \frac{1}{4(3,14)^2(20.10^3)^2.1.10^{-9}} = 63,4mH$$

1.2– إزالة التضمين:



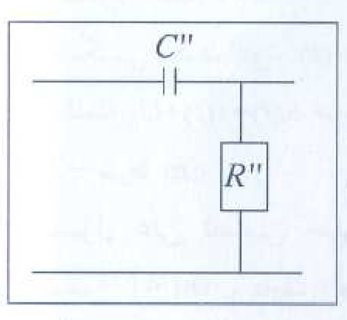
يمكن كاشف الغلاف من إزالة المركبة الناتجة عن الإشارة المضمّنة، وبالتالي نحصل على توتر مطابق إلى حد كبير للتوتر المضمّن، وتتكون دارة كاشف الغلاف من صمام ثنائي ودارة $R'C'$ متوازية، تلعب هذه الأخيرة دورَ مرشح ممرر للترددات المنخفضة، أي انتقاء التردد f وإزالة التردد العالي F.

2.2– إشارة الخروج:



رسم التمثيل للإشارة عن مخرج كاشف التذبذب خاطئ. بحيث عند تزايد توتر الخروج $u'_s(t)$ يشحن المكثف C'، وعندما يتناقص $u'_s(t)$ يفرغ المكثف في المقاومة R'، وبالتالي عوض أن يتزايد التوتر $u'(t)$ كما رسمه التلميذ يتناقص، إذن التمثيل الصحيح يكون كما هو ممثل في الشكل جانبه.

3 – دور الوحدة الثالثة:

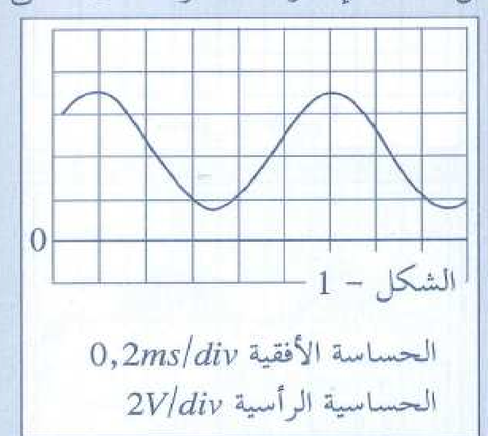


تلعب دارة هذه الوحدة مرشح ممرر للترددات العالية (دارة $R''C''$ متوالية)، تمكن من إزالة المركبة المستمرة بعد كشف الغلاف، وبالتالي عند مخرج الدارة نحصل على الإشارة المضمّنة $s(t)$.

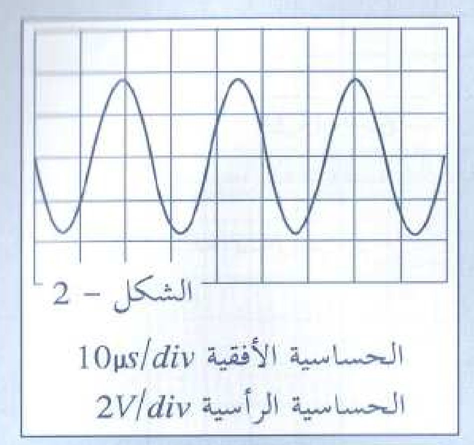
التمرين II

I- التضمين:

نجز التركيب الذي يسمح بإنجاز التضمين بالوسع، وباستعمال راسم التذبذب نعاين على التوالي إشارة ذات تردد منخفض مضمّنة لإشارة ذات تردد عال تسمى الحاملة.



الشكل – 1
الحساسية الأفقية $0,2ms/div$
الحساسية الرأسية $2V/div$


الشكل – 2
الحساسية الأفقية $10\mu s/div$
الحساسية الرأسية $2V/div$

1- حدد دور وتردد كل من التوترين الجيبيين.

2- استنتج ترددي الإشارة المضمِّنة والإشارة الحاملة.

3- عين القيمة U_0 للمركبة المستمرة (توتر التخلف).

4- نعاين بشكل متآن على شاشة راسم التذبذب الإشارة المضمِّنة والإشارة المضمَّنة شكل – 3.

هل تردد الإشارة المضمَّنة مساو لتردد الحاملة؟ علل جوابك.

الشكل – 3

5- للتحقق من جودة التضمين، تستعمل طريقة شبه المنحرف، فنحصل على الشكل – 4.

بين كيف يتم ضبط كاشف التذبذب للحصول على هذا الشكل؟

استنتج حالة التضمين.


الشكل – 4



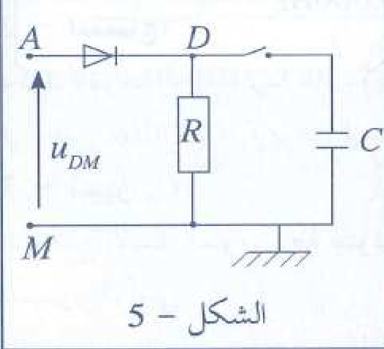
II- إزالة التضمين:

لإزالة التضمين نستعمل التركيب (الشكل – 5) حيث نطبق توتر الإشارة المضمَّنة على المربطين A وM، ونعاين التوتر U_{DM} على شاشة راسم التذبذب.

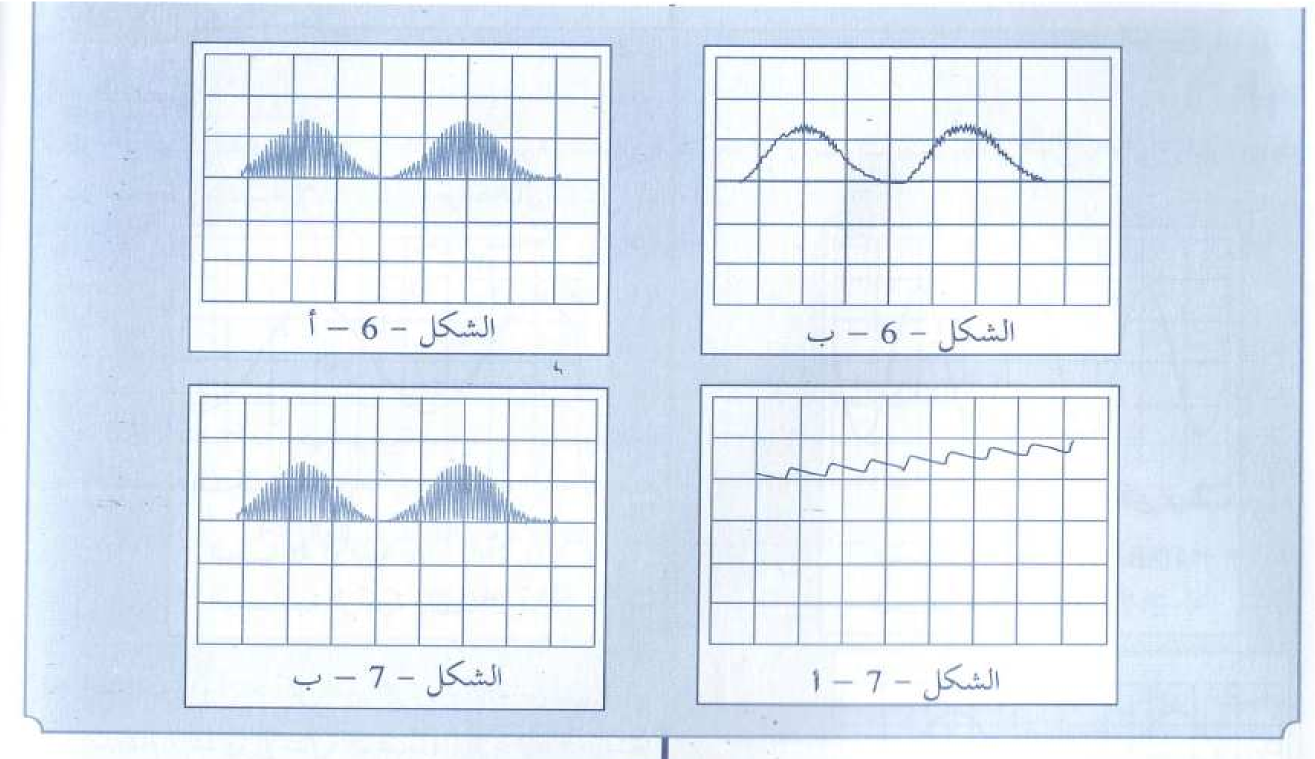
1- نترك قاطع التيار مفتوحاً، أي من الرسمين التذبذبيين نحصل عليه من الشكلين جانبه (الشكل – 6).

2- يوجد قاطع التيار في موضع يسمح بمعاينة الرسمين التذبذبيين التاليين (الشكل – 7). كيف يمكن المرور من شكل لآخر.

3- عين ثابتة الزمن باعتبار $R = 1M\Omega$ و $C = 470pF$ -4 هل ثنائي القطب هذا مناسب لإزالة التضمين؟



الشكل – 5


الشكل – 6 – ب
الشكل – 6 – أ
الشكل – 7 – أ
الشكل – 7 – ب

الحل

I– التضمين:

1– تحديد الدور والتردد:

– بالنسبة للإشارة 1 (الشكل – 1)

لدينا: $T_1=5div.0,2ms/div=1ms$

إذن: $f_1=\frac{1}{T_1}$

$f_1=\frac{1}{1.10^{-3}}=1000Hz$

– بالنسبة للرسم التذبذبي في الشكل – 2

لدينا: $T_2=2,5div.10\mu s/div=25\mu s$

إذن: $f_2=\frac{1}{T_2}$

$f_2=\frac{1}{2510^{-6}}=40.000Hz$

2 – استنتاج:

يكون للموجة الحاملة تردد عالٍ، ويوافق $f_2=40.000Hz$؛ في حين $f_1=1000Hz$ يوافق تردد الإشارة المضمّنة.

3 – تعيين U_0:

تتموضع القيمة المتوسطة للتوتر الجيبي بين تدرجتين للمحور الرأسي

إذن: $U_0=2div\times 2V/div=4V$

4 – الترددان:

أثناء التضمين بالوسع، يتم التضمين بالوسع لتوتر الموجة الحاملة، حيث تحافظ على ترددها. إذن تردد الإشارة المضمّنة يساوي تردد الموجة الحاملة.

5 – طريقة شبه المنحرف:

يعتمد مبدأ هذه الطريقة على معاينة، بشكل متآن، التوتر المضمّن والتوتر المضمّن حيث نصل كل توتر بأحد مدخلي راسم التذبذب، ويتم حذف قاعدة الزمن.

إذا تم الحصول على شبه منحرف فإن التضمين يكون جيداً. الشكل – 4 يبرز شبه منحرف، إذن التضمين في هذه الحالة جيد.

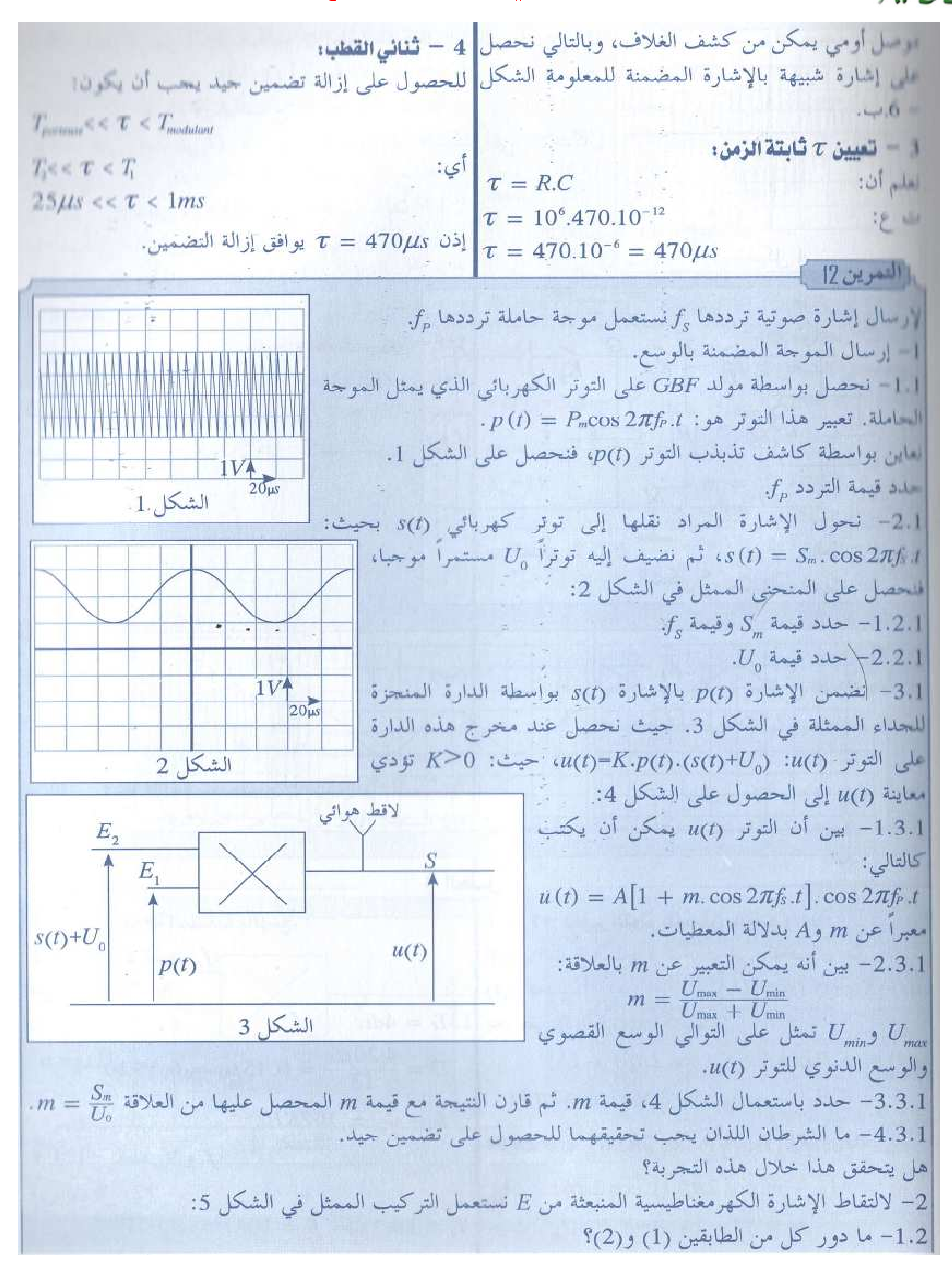
II– إزالة التضمين:

1 – الرسم الموافق:

يتم تقويم التوتر المضمّن بواسطة الصمام الثنائي والموصل الأومي. حيث تم إزالة التوترات السالبة، إذن يوافق الرسم التذبذبي الشكل – 6أ.

2 – طريقة المرور:

للمرور من شكل لآخر نغلق قاطع التيار، حيث نحصل على دارة تحتوي على مكثف مركب على التوالي مع



موصل أومي يمكن من كشف الغلاف، وبالتالي نحصل على إشارة شبيهة بالإشارة المضمنة للمعلومة الشكل 6 ـ ب.

3 – تعيين τ ثابتة الزمن:

نعلم أن: $\tau = R.C$

ت ع: $\tau = 10^{6}.470.10^{-12}$

$\tau = 470.10^{-6} = 470\mu s$

4 – ثنائي القطب:

للحصول على إزالة تضمين جيد يجب أن يكون:

$T_{porteuse} << \tau < T_{modulant}$

أي: $T_p << \tau < T_s$

$25\mu s << \tau < 1ms$

إذن $\tau = 470\mu s$ يوافق إزالة التضمين.

التمرين 12

لإرسال إشارة صوتية ترددها f_S نستعمل موجة حاملة ترددها f_P.

1– إرسال الموجة المضمنة بالوسع.

1.1– نحصل بواسطة مولد GBF على التوتر الكهربائي الذي يمثل الموجة الحاملة. تعبير هذا التوتر هو: $p(t) = P_m \cos 2\pi f_P . t$.

نعاين بواسطة كاشف تذبذب التوتر $p(t)$، فنحصل على الشكل 1.

حدد قيمة التردد f_P.

2.1– نحول الإشارة المراد نقلها إلى توتر كهربائي $s(t)$ بحيث: $s(t) = S_m . \cos 2\pi f_S . t$، ثم نضيف إليه توتراً مستمراً موجباً U_0 فنحصل على المنحنى الممثل في الشكل 2:

1.2.1– حدد قيمة S_m وقيمة f_S.

2.2.1– حدد قيمة U_0.

3.1– نضمن الإشارة $p(t)$ بالإشارة $s(t)$ بواسطة الدارة المنجزة للجداء الممثلة في الشكل 3. حيث نحصل عند مخرج هذه الدارة على التوتر $u(t)$: $u(t)=K.p(t).(s(t)+U_0)$، حيث: $K>0$ تؤدي معاينة $u(t)$ إلى الحصول على الشكل 4:

1.3.1– بين أن التوتر $u(t)$ يمكن أن يكتب كالتالي:

$$u(t) = A[1 + m.\cos 2\pi f_S .t].\cos 2\pi f_P .t$$

معبراً عن m و A بدلالة المعطيات.

2.3.1– بين أنه يمكن التعبير عن m بالعلاقة:

$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$$

U_{max} و U_{min} تمثل على التوالي الوسع القصوي والوسع الدنوي للتوتر $u(t)$.

3.3.1– حدد باستعمال الشكل 4، قيمة m. ثم قارن النتيجة مع قيمة m المحصل عليها من العلاقة $m = \frac{S_m}{U_0}$.

4.3.1– ما الشرطان اللذان يجب تحقيقهما للحصول على تضمين جيد. هل يتحقق هذا خلال هذه التجربة؟

2– لالتقاط الإشارة الكهرمغناطيسية المنبعثة من E نستعمل التركيب الممثل في الشكل 5:

1.2– ما دور كل من الطابقين (1) و(2)؟

الشكل 1.

الشكل 2

الشكل 3



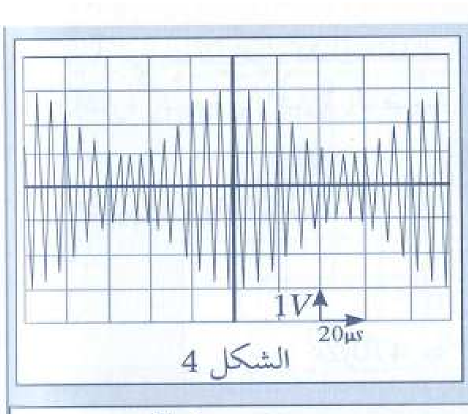
2.2- لمعرفة دور أجزاء الطابق 2 نعاين على التوالي التوترات U_{EM}؛ U_{GM} وU_{HM}.

1.2.2- K_1 مفتوح وK_2 مفتوح.
تعرف على هيأة U_{EM} من بين المنحنيات الممثلة في الأشكال (أ،ب، ج).

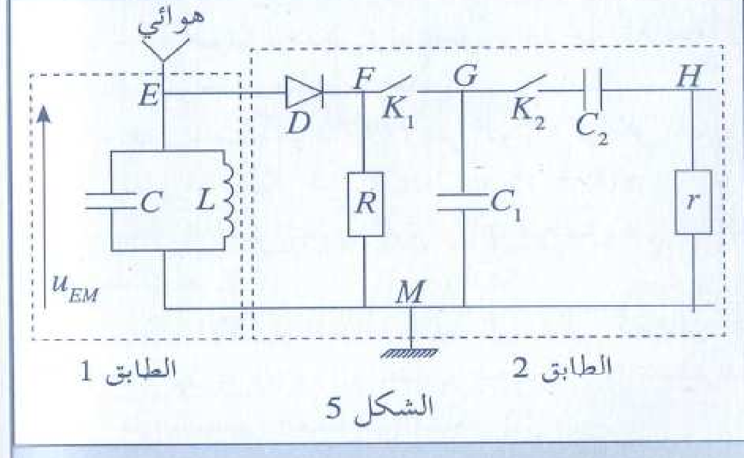
2.2.2- K_1 مغلق وK_2 مفتوح.
ما المنحنى الموافق للتوتر u_{GM}؟

3.2.2- K_1 مغلق وK_2 مغلق.
ما المنحنى الموافق للتوتر u_{HM}؟

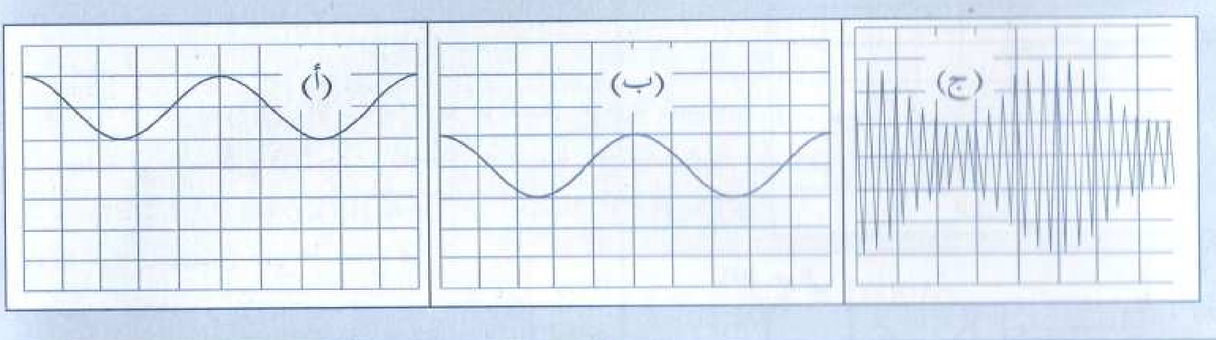
4.2.2- نريد الحصول على إزالة التضمين بشكل جيد باستعمال إحدى المكثفات التالية: $22nF$؛ $22nF$؛ $2,2nF$ و $220nF$.
حدد C_1 سعة المكثف الأكثر ملائمة لذلك.
نعطي: $R = 10K\Omega$.



الشكل 4



الشكل 5



الحـل

1- إرسال الموجة المضمّنة بالوسع.

1.1- تحديد التردد f_P:

من الشكل 1:

$$13T_P = 4div$$

$$T_P = \frac{4.20\mu s}{13} = 6,15\mu s = 6,15.10^{-6}s$$

$$f_P = \frac{1}{T_P} \simeq 162KHz$$

1.2.1- تحديد S_M و f_S:

من الشكل (2):

$T_S = 10^{-4}s \Rightarrow f_S = 10KHz$ و $S_m = 1V$

1.3.1- تعبير التوتر المضمّن بالوسع $u(t)$:

تؤدي الدارة المنجزة للجداء إلى الحصول على التوتر $u(t)$ بحيث: $u(t)=K.p(t).(s(t)+U_0)$

بتعويض $p(t)$ و $s(t)$ نكتب:

$$u(t) = K.P_m\cos f_P.t(S_m.\cos 2\pi f_S t + U_0)$$
$$= K.P_m(U_0 + S_m.\cos 2\pi f_S t).\cos 2\pi f_P t$$
$$= K.P_m U_0\left(1 + \frac{S_m}{U_0}.\cos 2\pi f_S.t\right).\cos 2\pi f_P t$$
$$= A(1 + m.\cos 2\pi f_S.t).\cos 2\pi f_P t$$

حيث: $A=K.P_m.U_0$ و $m = \frac{S_m}{U_0}$

2.3.1– تعبير m:

وسع التوتر $u(t)$ هو: $U = A(1 + m.\cos 2\pi f_s.t)$

بتأطير $\cos 2\pi f_s t$ بين -1 و$+1$ لدينا:

$$U_{min} = A(1-m) \le U \le U_{max} = A(1+m)$$

$$\frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{A(1+m)}{A(1-m)} = \frac{1+m}{1-m}$$

ومنه: $(1-m)U_{max} = (1+m)U_{min}$

$$U_{max} - U_{min} = m(U_{max}+U_{min})$$

إذن: $m = \frac{U_{max}-U_{min}}{U_{max}+U_{min}}$

3.3.1– تحديد m:

من منحنى الشكل 4 لدينا:

$U_{max}=3div=3V$ و $U_{min}=3div=1V$

$$m = \frac{3-1}{3+1} = \frac{2}{4} = 0,5$$

باستعمال العلاقة $m = \frac{S_m}{U_0}$ حيث: $S_m=1V$

و$U_0=2V$ انطلاقاً من الشكل 2.

نجد: $m = \frac{1}{2} = 0,5$

4.3.1– شرطا جودة التضمين:

– **الشرط الأول:** تردد الموجة الحاملة تَرَدُّدٌ عالٍ: $f_P >> f_S$

– **الشرط الثاني:** المركبة المستمرة للتوتر U_0 أكبر من لقيمة القصوى S_m للإشارة المضمّنة. يعني أن: $m = \frac{S_m}{U_0} < 1$

(m يسمى معامل التضمين)

نلاحظ أن هذين الشرطين يتحققان بالنسبة للموجة المدروسة.

2– التقاط الإشارة المنبعثة من E:

1.2– دور الطابقين (1) و(2):

– الطابق (1): أو دارة التوافق: تلتقط الإشارة المضمنة بالوسع.

– الطابق (2): يقوم بإزالة التضمين.

2.2– تَعرُّف المنحنيات الموافقة:

1.2.2– التوتر U_{EM} يوافقه المنحنى (ج).

2.2.2– التوتر U_{GM} يوافقه المنحنى (أ).

3.2.2– التوتر U_{HM} يوافقه المنحنى (ب).

3.2– تحديد المكثف الملائم:

تتطلب عملية إزالة التضمين بشكل جيد أن تحقق ثابتة الزمن $\tau = RC_1$ لدارة كشف الغلاف المتراجحة التالية:

$$T_S > RC_1 >> T_P$$

$$\frac{1}{f_S} > RC_1 >> \frac{1}{f_P}$$

$$\frac{1}{R.f_S} > C_1 >> \frac{1}{R.f_P}$$

$$\frac{1}{10.10^3.10^4} > C_1 >> \frac{1}{10.10^3.162.10^3}$$

$$10^{-8}F > C_1 >> 0,0617.10^{-8}F$$

$$10nF > C_1 >> 0,6nF$$

من بين السعات: $220nF$ ؛ $22nF$ ؛ $2,2nF$ ؛ $220pF=0,22nF$

فإن السعة: $C_1=2,2nF$ هي الملائمة.

التمرين 13

لإرسال إشارة جيبية توترها $s(t) = S_m.\cos(2\pi ft)$، ننجز عملية التضمين بالوسع لموجة حاملة توترها $u_p(t) = P_m.\cos(2\pi Ft)$ باستعمال الدارة المنجزة للجداء حيث نحصل على التوتر $u=k.u_1.u_2$ حيث $k>0$.

نصل المدخلين Y_1 وY_2 لكاشف تذبذب بالنقطتين E_1 وS من الدارة. فنحصل على منحنيي الشكل 2.

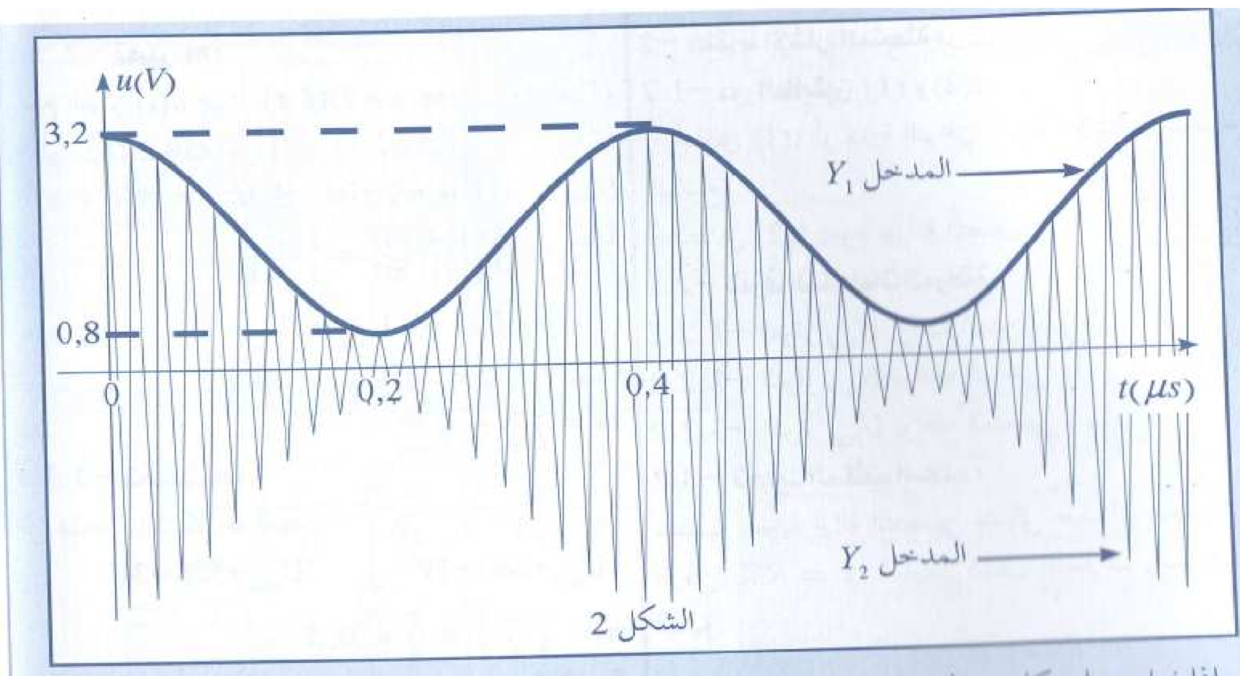
Y_1 E_1 E_2 S Y_2

$u_1=s+U_0$ $u_2=u_p$ u

الشكل 1

urdorous.blogspot.com





الشكل 2

1- ماذا نعاين على كل من المدخلين Y_1 وY_2؟

2- حدد الترددين f وF.

3- أوجد تعبير معامل التضمين m المعرف بالعلاقة $m=\frac{S_m}{U_0}$، بدلالة U_{max} وU_{min}: القيمتين الحديتين ل U_m وسع التوتر $u(t)$.

4- حدد مبيانياً U_{max} وU_{min}، ثم استنتج قيمة m.

5- هل هذه التجربة تحقق شرطي جودة التضمين؟ علل جوابك.

6- حدد مبيانيا الوسع S_m، ثم استنتج قيمة U_0 توتر التأخر.

7- ما المركبة التي يجب إضافتها لهذا التركيب للتمكن من إرسال الإشارة المضمنة $u(t)$ المحصل عليها؟ ما القيمة الدنوية لطول هذه المركبة؟ نعطي $c=3.10^8 m/s$.

الحل

1- التوتران المعاينان:

على المدخل Y_1 نعاين التوتر u_1.

وعلى المدخل Y_2 نعاين التوتر u.

2- تحديد f وF:

$$f=\frac{1}{T_s}=\frac{1}{0,4.10^{-6}}$$

$$f=2,5.10^6 Hz=2,5 MHz$$

$$T_s=20T_p \Rightarrow F=20f=50MHz$$

3- تعبير m:

تعبير التوتر المضمَّن بالوسع: $u(t)=ku_1.u_2$

يعني أن: $u(t)=k[s+U_0](P_m.\cos 2\pi Ft)$

$$=k[S_m.\cos 2\pi ft+U_0].P_m\cos 2\pi Ft$$

$$u(t)=kP_m.[mU_0\cos 2\pi ft+U_0].\cos 2\pi Ft$$

$$=kP_mU_0[\cos 2\pi ft+1].\cos 2\pi Ft$$

$$=U_m.\cos 2\pi Ft$$

حيث: $U_m=k.P_m.U_0[m\cos 2\pi ft+1]$: وسع الموجة الحاملة $u(t)$.

القيمتان الحديتان ل U_m:

$$U_{max}=U_{max}=kP_mU_0[m+1]$$

$$U_{min}=U_{m(min)}=kP_mU_0[-m+1]$$

نستنتج أن:

$$\frac{U_{max}}{U_{min}}=\frac{1+m}{1-m}$$

$$U_{max}-U_{min}=m(U_{max}+U_{min})$$

$$m=\frac{U_{max}-U_{min}}{U_{max}+U_{min}}$$



4- تحديد m:

مبيانيا: $U_{max}=3,2v$ و $U_{min}=0,8V$

$$m = \frac{3,2 - 0,8}{3,2 + 0,8} = 0,6$$

5- جودة التضمين:

تتطلب جودة التضمين تحقيق الشرطين:

$F>>f$ و $m<1$

وهو ما يوفره هذا التركيب.

6- تحديد S_m و U_0:

مبيانياً لدينا: $2S_m=3,2-V=2,4V$

يعني أن: $S_m=1,2V$

ومن العبارة: $m = \frac{S_m}{U_0}$

نستنتج أن: $U_0 = \frac{S_m}{m}$

$$U_0 = \frac{1,2}{0,6} = 2V$$

7- المركبة الإضافية:

لإرسال التوتر $u(t)$ المضمن بالوسع $u(t)$ يجب تحويله إلى موجة كهرمغطيسية، وذلك بواسطة باعث هوائي $(Antenne\ d'émission)$

طول الباعث الهوائي يقارب $\frac{\lambda}{2}$

$$\ell \simeq \frac{\lambda}{2} = \frac{C.T_p}{2} = \frac{C}{2F} = \frac{3.10^8}{2.50.10^6} = 3m$$